



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 44 01 602 A 1

⑤ Int. Cl.⁶:
G 21 C 3/322

⑳ Aktenzeichen: P 44 01 602.6
㉑ Anmeldetag: 20. 1. 94
㉒ Offenlegungstag: 24. 8. 95

DE 44 01 602 A 1

㉓ Anmelder:
Westinghouse Electric Corp., Pittsburgh, Pa., US
㉔ Vertreter:
Grünecker und Kollegen, 80538 München

㉕ Erfinder:
Demario, Edmund Emory, Columbia, S.C., US;
Lawson, Charles Norman, Columbia, S.C., US

㉖ Brennstoffanordnung einschließlich Ablenkschaufeln zum Ablenken einer Komponente eines Flüssigkeitsstroms, der entlang einer solchen Brennstoffanordnung fließt

㉗ Brennstoffanordnung mit Ablenkschaufeln zum Ablenken einer Komponente eines Flüssigkeitsstroms, der entlang einer solchen Brennstoffanordnung fließt. Die Brennstoffanordnung umfaßt ein Gitterelement mit rhombusförmigen Stabzellen und allgemein rhombusförmigen Fingerhutzellen dadurch. Eine Mehrzahl von parallelen Brennstäben erstreckt sich durch entsprechende Stabzellen und eine Mehrzahl von parallelen Steuerstab-Führungsfingerhutrohren erstreckt sich durch entsprechende Fingerhutzellen. Eine Mehrzahl von Ablenkschaufeln ist mit jeder Stabzelle verbunden und integral daran an der oberen Kante jeder Stabzelle befestigt. Jede Ablenkschaukel erstreckt sich über ihrer entsprechenden Stabzelle und steht gekrümmt teilweise über der Stabzelle vor, um eine Komponente des Flüssigkeitsstroms auf die äußere Oberfläche des Brennstabes zu lenken, der sich durch die Stabzelle erstreckt. Die Ablenkschaukel und die rhombische Form jeder Stabzelle wirken zusammen, um einen Wirbel zu erzeugen, der um die longitudinale Achse des Brennstabes zentriert ist, um einen flüssigen, im wesentlichen einphasigen Flüssigkeitsfluß entlang der äußeren Oberfläche des Brennstabes aufrecht zu erhalten, so daß DNB selbst in der Anwesenheit von hohen Wärme fluxen über die äußere Oberfläche des Brennstabes vermieden wird.

DE 44 01 602 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Brennstoffanordnungen und insbesondere auf eine Brennstoffanordnung mit Ablenkschaufeln zum Ablenken einer Komponente eines Flüssigkeitsstroms, der entlang einer solchen Brennstoffanordnung fließt, wobei die Brennstoffanordnung von der Art sein kann, die typischerweise in Kernreaktorkernen gefunden wird.

Vor der Diskussion des Standes der Technik ist es instruktiv, zunächst den Aufbau und die Arbeitsweise eines typischen Kernreaktors zur beschreiben, der eine Mehrzahl von Kernbrennstoffanordnungen enthält. In dieser Hinsicht ist ein Kernreaktor eine Vorrichtung zum Erzeugen von Wärme durch die kontrollierte Spaltung von Kernbrennstoffmaterial, das in einer Mehrzahl von benachbarten Brennstäben enthalten ist. Die Brennstäbe werden von einer Mehrzahl von voneinander getrennten Gittern gebündelt, wobei jedes Gitter offene Zellen zum Aufnehmen der Brennstäbe dadurch und zum Einhalten eines vorgegebenen Abstandes zwischen den benachbarten Brennstäben besitzt. Darüber hinaus werden auch hohle Steuerstab-Führungsfingerhutrohre von weiteren offenen Zellen jedes Gitter aufgenommen. Die Fingerhutrohre nehmen gleitend bewegliche Absorber- oder Steuerstäbe auf, die in der Lage sind, den Spaltungsvorgang zu steuern. Ein erster Endbereich und ein zweiter Endbereich jedes Fingerhutrohrs sind jeweils an eine obere und an eine untere Düse angebracht, um der Brennstoffanordnung eine feste, strukturelle Stütze zu geben. Die Kombination der Brennstäbe, Führungsfingerhutrohre, Gitter, oberer Düsen und unterer Düsen wird im Stand der Technik typischerweise als Brennstoffanordnung bezeichnet. Eine Mehrzahl von diesen Brennstoffanordnungen ist zusammengruppiert, um einen Kernreaktorkern zu bilden, der dicht durch eine Reaktordruckhülle umschlossen wird.

Während des Betriebs des Kernreaktors wird bewirkt, daß ein Strom eines flüssigen Moderatorkühlmittels (z. B. demineralisiertes Wasser) durch den Druckbehälter und über die Brennstäbe fließt, um den Spaltprozeß zu unterstützen und die durch die Spaltung des in jedem Brennstab enthaltenen Brennstoffmaterials erzeugte Wärme abzutransportieren. Die Fließgeschwindigkeit des Kühlmittels, das durch Reaktorkühlpumpen über die Brennstäbe gepumpt wird, kann im Falle eines typischen Druckwasser- Kernreaktors ungefähr 18 Fuß pro Sekunde (6 m/s) betragen, um die durch den Spaltungsvorgang erzeugte Wärme effektiv abzutransportieren. Das bedeutet, daß durch die Spaltung des Kernmaterials erzeugte Wärme von jedem der Brennstäbe und somit von jeder Brennstoffanordnung zum flüssigen Moderatorkühlmittel, das an den Brennstäben entlang fließt, übertragen wird. Die zum flüssigen Moderatorkühlmittel übertragene Wärme wird letztendlich von dem Kühlmittel aus dem Druckbehälter zu einem Turbinengenerator zur Erzeugung von Elektrizität auf eine in der Technik wohlbekannte Art der elektrischen Stromerzeugung übertragen. Wie hiernach diskutiert, ist es aus Sicherheitsgründen wichtig, daß das Kühlmittel die von jedem Brennstab erzeugte Wärme effizient abtransportiert. Für diesen Zweck sollte die erhitzte Oberfläche jedes Brennstabs in Kontakt mit dem Kühlmittel sein, das eine vorgegebene Volumen-Kühlmitteltemperatur besitzt.

Es ist bekannt, daß sich der Wärmefluß (also die Rate des Wärmetransports pro Einheitsfläche) transversal

durch die erhitzte Oberfläche des Brennstabes als eine Funktion der Temperaturdifferenz zwischen der erhitzten Oberfläche des Brennstabes und dem Volumenkühlmittel ändert. Um die Bedeutung dieser Beziehung zwischen dem Wärmefluß und der Temperaturdifferenz einzuschätzen, gibt die Diskussion unmittelbar hiernach eine Beschreibung der Art und Weise, nach der sich der Wärmefluß als eine Funktion der Temperaturdifferenz zwischen der erhitzten Oberfläche des Brennstabes und des Volumenkühlmittels ändert. Wenn nämlich beim Einfahren des Reaktors der Differenz zwischen der Oberflächentemperatur des Brennstabes und der Temperatur des Volumenkühlmittels ermöglicht wird, zuzunehmen, wird Wärme durch Einphasenkonvektion von der erhitzten Oberfläche zum Kühlmittel übertragen, wodurch der Wärmefluß erhöht wird. Bei weiterer Zunahme der Differenz zwischen der Oberflächentemperatur des Brennstabes und der mittleren Temperatur des Volumenkühlmittels übersteigt die Temperatur der erhitzten Oberfläche schließlich die Sättigungstemperatur (also die Temperatur von gesättigtem Dampf bei dem im Reaktorkern herrschenden Druck), und Dampfblasen bilden sich an der erhitzten Oberfläche, um Blasensieden auf der erhitzten Oberfläche solchermaßen zu erzeugen, daß der Wärmefluß schnell zunimmt. Ein maximaler Wärmefluß tritt dann auf, wenn die Blasen dicht genug werden, daß sie verschmelzen und einen Dampffilm auf der erhitzten Oberfläche bilden. Jedoch wirkt der Dampffilm als Wärmeisolator, da Dampf einen Wärmetransfer verhindert. Dieser Punkt des maximalen Wärmeflusses, an dem sich der Dampffilm auf der erhitzten Oberfläche bildet, wird in der Technik als Abweichung vom Blasensieden (Departure from Nucleate Boiling, DNB) bezeichnet und sollte aus Sicherheitsgründen vermieden werden. Wenn also der Differenz zwischen der Oberflächentemperatur und der Volumentemperatur ermöglicht wird, selbst um einen geringen Betrag über den maximalen Wärmefluß (DNB) hinaus anzusteigen, nimmt der Wärmefluß schnell beträchtlich ab, auch wenn die Temperatur der erhitzten Oberfläche zunimmt. Der Dampffilm auf dem Brennstab wird zu diesem Zeitpunkt instabil in dem Sinne, daß der Dampffilm abwechselnd zusammenbricht und sich dann wieder bildet, um ein partielles Filmsieden zu erzeugen. Wenn die Differenz zwischen der Oberflächentemperatur und der Volumen-Kühlmitteltemperatur weiter zunimmt, nimmt der Wärmefluß wieder zu und ein stabiles Dampffilmsieden tritt auf. Wenn jedoch große Wärmeflüsse mit Filmsieden (also entweder teilweises oder stabiles Filmsieden) auftreten, kann die Temperatur der erhitzten Oberfläche des Brennstabes hoch genug werden, um den Brennstab zu zerstören (was in der Technik als "Durchbrennen" bezeichnet wird), und was aus Sicherheitsgründen zu vermeiden ist. Somit ist für Fachleute klar, daß, wenn der Reaktor so betrieben werden soll, daß Blasensieden nahe DNB auftreten soll; eine relative geringe Zunahme im Wärmefluß eine relativ große Änderung im Filmsieden erzeugen kann, was zu einem "Durchbrennen" führen kann. Daher ist es vernünftig, den Kernreaktor so zu betreiben, daß der höchste Wärmefluß kleiner als der mit dem DNB verbundene Wärmefluß ist, um die höchste zulässige Wärmeerzeugung ohne Risiko einer Beschädigung des Brennstabs zu erhalten.

Wie hiervoor diskutiert kann sich auf der erhitzten Oberfläche des Brennstabes ein Dampfbblasenfilm bilden, um darauf ein Sieden zu erzeugen; jedoch wirkt der Film als ein Wärmeisolator, da Dampf einen Wärme-

transfer verhindert, und kann zu einem DNB führen, das seinerseits zu einer Beschädigung des Brennstabs führen kann. Daher ist es wünschenswert, einen Film von flüssigem, im wesentlichen einphasigem Kühlmittel auf der Oberfläche des Brennstabs zu halten, um den Wärmetransfer von dem Brennstab zum Kühlmittel zu verbessern und gleichzeitig ein DNB zu vermeiden. Daher ist es in der Technik ein Problem einen Film von flüssigem, im wesentlichen einphasigem Kühlmittel auf der Oberfläche des Brennstabes zu halten, um den Wärmetransfer von dem Brennstab zum Kühlmittel zu verbessern und gleichzeitig ein DNB zu vermeiden.

Eine Verbesserung des Wärmetransfers von dem Brennstab zum Kühlmittel bei gleichzeitigem Vermeiden von DNB erhöht den maximal zulässigen Wärmefluß, der bei einer gegebenen Reaktorkerngröße erhalten werden kann. Dies ist wünschenswert, da eine Erhöhung des maximal zulässigen Wärmeflusses bei einer gegebenen Reaktorkerngröße die maximal zulässige Leistung erhöht, die von dem Reaktorkern erhalten werden kann. In dieser Hinsicht kann der Wärmetransfer von dem Brennstab zum Kühlmittel durch Erhöhen der Fließgeschwindigkeit des Volumen Kühlmittels über die Brennstäbe erhöht werden. Jedoch erfordert eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeit des Kühlmittels teurere und größere Reaktorkühlmittelpumpen. Daher ist es ein weiteres Problem in der Technik, den Wärmetransfer von dem Brennstab zum Kühlmittel effektiver zu verbessern, ohne größere und teurere Reaktorkühlmittelpumpen zu erfordern.

Das Halten eines Film von flüssigem, im wesentlichen einphasigem Kühlmittel auf der Oberfläche des Brennstabes zum Erhöhen des Wärmetransfers von dem Brennstab zum Kühlmittel bei gleichzeitigem Vermeiden von DNB auf eine Weise, die keine größeren Kühlmittelpumpen erfordert, hat in den letzten Jahren zusätzliche Bedeutung erlangt, da einige gängige Reaktorkernentwürfe verlangen, daß die zuvor erwähnten Brennstäbe statt in der traditionelleren, weniger dichten, quadratischen Anordnung in einer dichter, dreieckigen Anordnung angeordnet sind. Somit können in einigen Reaktorkernentwürfen die die Brennstäbe enthaltenden Brennstoffanordnungen einen sechseckigen Querschnitt zum geeigneten Erreichen der "dichtgepackten", dreieckigen Anordnung aufweisen. In einer dreieckigen Anordnung angeordnete Brennstäbe erreichen eine höhere, mittlere Wärmeflußdichte von einem Reaktorkern mit einer gegebenen Größe verglichen mit Brennstäben, die in der herkömmlicheren, quadratischen Anordnung angeordnet sind. Das Erhalten einer höheren, mittleren Wärmeflußdichte durch Verwendung von dichtgepackten Brennstoffanordnungen ist aus ökonomischen Gründen wünschenswert, da solche dichtgepackten Brennstoffanordnungen eine höhere, Einkünfte erzeugende Leistung pro Einheitsvolumen des Reaktorkerns erreichen, was seinerseits die Rendite der Kraftwerksinvestitionen erhöht. Jedoch neigen höhere Flußraten dazu, das Risiko von DNB zu erhöhen und sind daher aus Sicherheitsgründen nicht erwünscht, wie hiernach diskutiert. Somit ist es sehr wichtig, solche Brennstoffanordnungen und die darin enthaltenen, dicht gepackten Brennstäbe angemessen zu kühlen, so daß DNB vermieden wird und gleichzeitig ein höherer Wärmefluß pro Einheitsvolumen in dem Reaktorkern erhalten wird.

Für die Verwendung in Kernreaktoren geeignete Brennstoffanordnungen sind bekannt. Eine solche Brennstoffanordnung ist in dem US-Patent Nr. 3 787 285

mit dem Titel "Fuel Assembly For A Nuclear Reactor And A Nuclear Reactor Core Comprising Such Fuel Assemblies", erteilt am 22. Januar 1974 für Jorgen Marstrand, offengelegt. Dieses Patent legt eine Brennstoffanordnung mit Führungsschaufeln offen, deren Achsen parallel zu den Brennstäben sind und dem entlang den Schaufel fließenden Kühlmittel eine Wirbelbewegung mitgeben, um eine höhere Energieflußdichte zu erlauben. Die Brennstäbe sind in einer hexagonalen Anordnung angeordnet, so daß der äußere Umfang der Brennstoffanordnung hexagonal ist. Eine Mehrzahl von Schaufeln sind um eine zentrale Achse angeordnet und gegen diese gekippt, um zu bewirken, daß der Flüssigkeitsfluß über die Brennelemente einem allgemein schraubenförmigen Pfad um die zentrale Achse folgt. Auch wenn das Marstrand-Patent eine Brennstoffanordnung mit einem äußeren hexagonalen Umfang und einer Mehrzahl von Führungsschaufeln offenlegt, legt das Marstrand-Patent anscheinend keine Brennstoffanordnung mit Ablenkschaufeln zum Ablenken einer Komponente eines Flüssigkeitsstromes, der entlang einer solchen Brennstoffanordnung fließt, offen, wie sie hiernach beschrieben und beansprucht wird.

Auch wenn das oben erwähnte Patent eine Brennstoffanordnung offenlegt, die für die Verwendung in einem Kernreaktorkern geeignet ist, legt sie anscheinend keine Brennstoffanordnung mit Ablenkschaufeln zum Ablenken einer Komponente eines Flüssigkeitsstromes, der entlang einer solchen Brennstoffanordnung fließt, offen, wie sie hiernach beschrieben und beansprucht wird.

Daher wird eine Brennstoffanordnung mit Ablenkschaufeln zum geeigneten Ablenken einer Komponente eines Flüssigkeitsstromes, der entlang einer solchen Brennstoffanordnung fließt, benötigt.

Solche Brennstoffanordnungen folgen aus den beigefügten Patentansprüchen.

Insbesondere wird hierin eine Brennstoffanordnung mit Ablenkschaufeln zum geeigneten Ablenken einer Komponente eines Flüssigkeitsstromes, der entlang einer solchen Brennstoffanordnung fließt, offengelegt. Die Brennstoffanordnung umfaßt ein Gitterelement mit Zellen in Rhombusform und Fingerhutzellen in allgemeiner Rhombusform dadurch. Eine Mehrzahl von parallelen Brennstäben erstreckt sich durch die entsprechenden Stabzellen und eine Mehrzahl von Steuerstabsführungsfingerhutröhren erstrecken sich durch die entsprechenden Fingerhutzellen. Eine Mehrzahl von Ablenkschaufeln sind mit jeder Stabzelle verbunden und integral daran an einer oben liegenden Kante jeder Stabzelle angebracht. Jede Ablenkschaukel erstreckt sich zu der mit ihr verbundenen Stabzelle und steht teilweise gekrümmt über der Stabzelle vor, um eine Komponente des Flüssigkeitsstroms auf die äußere Oberfläche des Brennstabs, der sich durch die Stabzelle erstreckt, abzulenken. Die Ablenkschaukel und die Rhombusform jeder Stabzelle wirken zusammen, um einen Wirbel zu erzeugen, der um die longitudinale Achse des Brennstabs zentriert ist, um einen flüssigen, im wesentlichen einphasigen Fluß entlang der äußeren Oberfläche des Brennstabes aufrecht zu erhalten, so daß selbst in der Anwesenheit von hohen Wärmeströmen über die äußere Oberfläche des Brennstabes DNB vermieden wird.

Die Brennstoffanordnung nach der vorliegenden Erfindung wird besser verstanden aus der nachfolgenden Beschreibung zusammen mit den beigefügten Zeichnungen.

Fig. 1 zeigt in einem teilweisen vertikalen Querschnitt einen typischen Kernreaktor-Druckbehälter, von dem der Klarheit wegen Teile entfernt sind, wobei der Reaktor-Druckbehälter darin angeordnet erfindungsgemäße Brennstoffanordnungen besitzt, wobei jede der Brennstoffanordnungen eine Mehrzahl von Brennstäben und Steuerstab-Führungsfingerhutröhren umfaßt.

Fig. 2 zeigt in teilweise vertikalem Aufriß eine der Brennstoffanordnungen.

Fig. 3 ist ein teilweiser Aufriß eines Gitterelements zum Halten der Brennstäbe und Fingerhutröhren.

Fig. 4 ist eine Draufsicht des Gitterelements entlang der Schnittlinie 4-4 der Fig. 2.

Fig. 5 ist eine perspektivische Ansicht einer ersten, inneren Befestigung und einer zweiten, inneren Befestigung, die zu dem Gitterelement gehören, wobei die ersten und zweiten, inneren Befestigungen so ausgeführt sind, daß sie untereinander befestigbar sind und integral daran angebrachte Ablenkschaufeln besitzen.

Fig. 6 ist eine perspektivische Teilansicht des Gitterelements mit einer Fingerhutröhre und einem sich dadurch erstreckenden Brennstab, wobei die Fingerhutröhre und der Brennstab gestrichelt gezeigt sind.

Fig. 7 ist eine teilweise Draufsicht des Inneren des Gitterelements entlang der Schnittlinie 7-7 der Fig. 3.

Fig. 8 ist ein Aufriß einer der Ablenkschaufeln, der die Richtung des Flüssigkeitsstroms zeigt, wie er von der Ablenkschaukel abgelenkt wird.

Fig. 9 ist ein Seitenaufriß der Ablenkschaukel entlang der Schnittlinie 9-9 der Fig. 8.

Fig. 10 ist eine Draufsicht einer der Stabzellen, die die Richtung des wirbelnden Flüssigkeitsflusses um den Brennstab, der sich durch die Stabzelle erstreckt, zeigt.

In einem typischen Kernreaktor wird Wärme aufgrund der Spaltung von Brennstäben enthaltenem Kernmaterial von den Brennstäben auf ein flüssiges Moderator-Kühlmittel übertragen, das an den Brennstäben vorbeifließt. Es ist aus Sicherheitsgründen wichtig, daß das Kühlmittel die von jedem Brennstab erzeugte Wärme wirkungsvoll abtransportiert, so daß ein DNB vermieden wird. Erfindungsgemäß wird ein solcher wirkungsvoller Abtransport von Wärme von der Oberfläche des Brennstabes durch gebogene Ablenkschaufeln erreicht, die zur Brennstoffanordnung gehören, die die Brennstäbe enthält.

Jedoch ist es vor einer Beschreibung des Gegenstandes der vorliegenden Erfindung instruktiv, zunächst kurz den Aufbau und die Arbeitsweise eines typischen Kernreaktors zu beschreiben.

Daher ist in Fig. 1 ein typischer Kernreaktor, allgemein mit 10 bezeichnet, zum Erzeugen von Wärme durch kontrollierte Spaltung von Kernbrennstoffmaterial 150 (siehe Fig. 2) gezeigt. Wie in Fig. 1 gezeigt, umfaßt der Reaktor eine Reaktordruckhülle 20 mit einem offenen, oberen Ende und einer Mehrzahl von daran angebrachten Einlaßdüsen 30 und Auslaßdüsen 40 (nur eine jeder Düsen ist gezeigt). Ein Verschlusskopf 50 ist dicht auf der Hülle 20 montiert, so daß der Verschlusskopf 50 die offene Hülle 20 dicht bedeckt oder abschließt. Das Abdecken der Hülle 20 auf diese Weise erlaubt ein geeignetes Unter-Druck-Setzen des Kühlmittels in der Hülle 20, wenn der Reaktor in Betrieb ist.

Weiterhin ist, wie in Fig. 1 gezeigt, in der Hülle 20 ein Kernreaktorkern, allgemein mit 60 bezeichnet, angeordnet, der Kernbrennstoffmaterial 150 enthält. Durch die Oberseite des Verschlusskopfes 50 ist eine Mehrzahl von Steuerstabantriebsschäften 70 angeordnet. Jeder Antriebsschaf 70 ist mit einer Mehrzahl von Steuerstäben

80 (siehe Fig. 2) zum Steuern des Spaltungsprozesses in dem Reaktorkern 60 entsprechend einer in der Technik der Kernenergieerzeugung wohlbekannten Art verbunden. Wie in Fig. 1 gezeigt, sind innerhalb der Reaktorhülle 20 eine horizontale, obere Kernplatte 90 und eine horizontale, untere Kernplatte 100, die von der oberen Kernplatte 90 getrennt ist, angeordnet. Die untere Kernplatte 100 und die obere Kernplatte 90 besitzen jeweils eine Vielzahl von Kühlmitteldurchflußöffnungen 110 transversal dadurch für den Durchfluß des Kühlmittels, das die durch die Spaltung des Kernbrennstoffes 150 erzeugte Wärme abtransportiert.

Während des Betriebs des Reaktorkerns 10 sind die Steuerstäbe 80 wenigstens teilweise durch die Betätigung der Antriebsschäfte 70 aus dem Reaktorkern 60 gezogen, um die Spaltungskettenreaktion beizubehalten. Sobald von dem Reaktorkern 60 Wärme erzeugt wird, wird bewirkt, daß ein flüssiger Flüssigkeitsstrom des flüssigen Moderator-Kühlmittels (z. B. demineralisiertes Wasser) in die Einlaßdüse 30 eintritt und allgemein nach oben durch den Reaktorkern 60 in der durch die vertikalen Pfeile in Fig. 1 gezeigten Richtung zirkuliert. Das flüssige Moderator-Kühlmittel unterstützt den Spaltungsprozeß durch die "Moderation" von Neutronen im Reaktorkern 60 und transportiert auch die durch den Spaltungsvorgang erzeugte Wärme ab. Das flüssige Moderator-Kühlmittel verläßt den Kernreaktor 10 durch die Auslaßdüsen 40, wonach es dann in eine Wärmetauschervorrichtung (nicht gezeigt) zum Erzeugen von Dampf geleitet wird. Der Dampf wird dann von der Wärmetauschervorrichtung in einen Turbinengenerator (nicht gezeigt) geleitet, um auf eine in der Technik der elektrischen Energieerzeugung wohlbekannte Art Elektrizität zu erzeugen.

In Fig. 2 ist der Gegenstand der vorliegenden Erfindung, der eine Brennstoffanordnung mit Ablenkschaufeln zum Ablenken einer Komponente eines Flüssigkeitsstromes, der an einer derartigen Brennstoffanordnung vorbeifließt, ist, wie sie speziell hiernach beschrieben und beansprucht wird, deutlicher gezeigt. Die Brennstoffanordnung, allgemein mit 120 bezeichnet, umfaßt eine Mehrzahl von länglichen, im allgemeinen zylindrischen Brennstäben 130, die vertikal in einer parallelen Anordnung mit Zwischenraum angeordnet sind. Jeder Brennstab 130 umfaßt seinerseits ein längliches, hohles und im allgemeinen zylindrisches Metallgehäuse oder eine Verkleidung 140 zum dichten Abschließen einer Mehrzahl von im allgemeinen zylindrischen Brennstoffpellets 150, die in der Lage sind, Wärme durch Kernspaltung zu erzeugen. Die Verkleidung 140 besitzt einen inneren Durchmesser 160 und einen äußeren Durchmesser 170 und kann ein beliebiges, geeignetes Metall mit einem relativ kleinen mikroskopischen Querschnitt für Neutronen, wie etwa "ZIRCALOY-4", sein. Hierbei besteht "ZIRCALOY-4" aus ungefähr 1,5% Zinn, 0,12% Eisen, 0,09% Chrom, 0,05% Nickel und 98,24% Zirkon nach Gewicht. Jedes Brennstoffpellet 150 besteht aus einem Kernbrennstoffmaterial, das spaltbare Kerne umfaßt, wie etwa U-235 (also Uran-235), das gleichförmig in einer Matrix von brütbaren Kernen, wie etwa U-238 (also Uran-238) zum Erzeugen von Wärme durch den Vorgang der Kernspaltung angeordnet ist. Die Brennstoffanordnung 120 umfaßt weiterhin eine erste Düsen- oder erste Unterlagsplatte 180 mit einem oberen Bereich 190 und einem unteren Bereich 200, wobei die erste Unterlagsplatte 180 einen regelmäßigen, hexagonalen, transversalen Querschnitt haben kann. Die erste Unterlagsplatte 180 besitzt aus hiernach

beschriebenen Gründen eine Mehrzahl von transversalen Bohrungen 205 darin (von denen nur eine gezeigt ist). Mit dem oberen Bereich 190 der ersten Unterlagsplatte 180 ist, etwa durch Niederhaltebolzen oder durch Schrauben 210, eine flexible Niederhaltefeder 220 verbunden. Die Niederhaltefeder 220 steht von dem oberen Bereich 190 der ersten Unterlagsplatte 180 nach außen hervor, um gegen die obere Kernplatte 90 zu stoßen, so daß die erste Unterlagsplatte 180 und somit die Brennstoffanordnung 120 auf die untere Kernplatte 100 gedrückt wird, wenn die Brennstoffanordnung 120 vertikal zwischen der oberen Kernplatte 90 und der unteren Kernplatte 100 angeordnet wird. Das Niederdrücken der Brennstoffanordnung 120 verhindert ein Abheben der Brennstoffanordnung 120 von der unteren Kernplatte, welches sonst aufgrund der nach oben gerichteten hydraulischen Kraft, die durch die Kühlmittelflüssigkeitsstrom beim Fließen des Flüssigkeitsstroms durch den Reaktorkern 60 im allgemeinen nach oben entlang einer eindirektionalen Fließachse ausgeübt wird, auftritt. Koaxial mit der ersten Unterlagsplatte 180 ausgerichtet und von dieser räumlich getrennt ist eine zweite Düsen- oder zweite Unterlagsplatte 230, die einen regelmäßigen, hexagonalen, transversalen Querschnitt haben kann. Die zweite Unterlagsplatte 230 umfaßt eine Mehrzahl von nach außen vorstehenden Füßen 240, die integral mit dieser geformt sind, um die Brennstoffanordnung 120 auf einer vorgegebenen Stelle auf der unteren Kernplatte 100 aufzustellen. Die zweite Unterlagsplatte 230 besitzt aus hiernach beschriebenen Gründen eine Mehrzahl von Bohrungen 250 (von denen nur eine gezeigt ist).

Wie weiterhin in Fig. 2 gezeigt ist, ist aus hiernach beschriebenen Gründen mit dem oberen Bereich 190 der ersten Unterlagsplatte 180 ein Antriebsschaft 70 mit sich radial nach außen erstreckenden Armen 260 verbunden. An jeden Arm 260 befestigt und durch die Bohrung 205 sich gleitend erstreckend ist ein länglicher Neutronenabsorberstab oder Steuerstab 270 zum Steuern des Spaltvorgangs in der Brennstoffanordnung 120. Die Mehrzahl der Steuerstäbe 270, die sich nach außen durch den unteren Bereich 200 der ersten Unterlagsplatte 180 erstrecken, sind parallel mit einem Abstand dazwischen angeordnet. Jeder Steuerstab 270 besteht aus einem geeigneten Material, wie etwa B₄C (also Bor-karbid) mit einem relativ großen, mikroskopischen Absorptionsquerschnitt für Neutronen. Darüberhinaus ist jeder Steuerstab 270 von einer Größe, daß er gleitend in einer länglichen, im allgemeinen zylindrischen und hohlen Steuerungsstab-Führungsfingerhutröhre 280, die sich nach außen von dem unteren Bereich 200 der ersten Unterlagsplatte 180 erstreckt, aufgenommen wird, wobei jede Fingerhutröhre 280 einen ersten Endbereich 290 und einen zweiten Endbereich 300 besitzt. Jede Fingerhutröhre 280 besitzt außerdem einen inneren Durchmesser 315 und einen äußeren Durchmesser 320. Der erste Endbereich 290 jeder Fingerhutröhre 280 ist in seiner entsprechenden Bohrung 205, die zur ersten Unterlagsplatte 180 gehört und an dieser etwa durch Stanzen oder Schweißen befestigt ist, aufgenommen. Darüberhinaus ist der zweite Endbereich 300 jeder Fingerhutröhre 280 in seiner entsprechenden Bohrung 250, die zur zweiten Unterlagsplatte 230 gehört, aufgenommen und an dieser etwa durch eine Schraube (nicht gezeigt) oder durch Schweißungen befestigt. Auf diese Weise sind die erste Unterlagsplatte 180 und die zweite Unterlagsplatte 230 durch Fingerhutröhren 280 miteinander verbunden, um der Brennstoffanordnung 120 eine Stei-

figkeit und strukturelle Integrität zu verleihen.

Wie in den Fig. 2, 3, 4, 5 und 6 gezeigt, sind entlang der axialen Länge der Fingerhutröhren 280 und der Brennstäbe 130 und koaxial zwischen der ersten Unterlagsplatte 180 und der zweiten Unterlagsplatte 230 mit Abständen eine Mehrzahl von koaxial ausgerichteten Gitterelementen angeordnet, die allgemein mit 310 bezeichnet sind, um die Fingerhutröhren 280 und die Brennstäbe 130 in ihrer vorgegebenen, parallelen Gitterkonfiguration mit Zwischenräumen zu halten. Jedes Gitterelement 310 kann aus den oben beschriebenen Gründen der Neutronenökonomie aus "ZIRCALOY-4" oder dergleichen bestehen. Jedes Gitterelement 310 umfaßt ein äußeres Band 320 mit einem regelmäßigen, hexagonalen, transversalen Umfang, das hochkant zum Flüssigkeitsstrom angeordnet ist. Das bedeutet, daß das äußere Band 320 sechs integral angebrachte, längliche Seitenplatten 330 besitzt, wobei jede Seitenplatte 330 unter einem vorgegebenen, stumpfen Winkel bezüglich seiner benachbarten Seitenplatte 330 angeordnet ist, um den regelmäßigen, hexagonalen, transversalen Umfang des äußeren Bandes 320 zu formen. Hochkant zum Flüssigkeitsstrom und transversal innerhalb des äußeren Bandes 320 befindet sich eine Mehrzahl von länglichen, parallelen, ersten, inneren Bändern 340, wobei jedes erste, innere Band 340 eine vorgegebene Länge besitzt. Jedes erste, innere Band 340 besitzt einen ersten Endbereich 350 der integral an einer inneren Wand, wie etwa der inneren Wand 374, des äußeren Bandes 320 angebracht ist, und einen zweiten Endbereich 360, der integral an einer weiteren inneren Wand, wie etwa der inneren Wand 377, des äußeren Bandes 320 angebracht ist, so daß aus hiernach beschriebenen Gründen jedes der inneren Bänder 340 parallel zu einer vorausgewählten Seitenplatte 330 ist. Darüber hinaus ist hochkant zum Flüssigkeitsstrom und transversal innerhalb des äußeren Bandes 320 eine Mehrzahl von länglichen, parallelen, zweiten, inneren Bändern 370 angeordnet, wobei jedes zweite, innere Band 370 eine vorgegebene Länge besitzt. Jedes zweite, innere Band besitzt 370 besitzt einen ersten Endbereich 380 der integral an einer inneren Wand des äußeren Bandes 320 angebracht ist, und einen zweiten Endbereich 390, der integral aus hiernach beschriebenen Gründen an einer weiteren inneren Wand des äußeren Bandes 320 angebracht ist. Wie hiernach in größerem Detail beschrieben, überschneidet sich jedes zweite, innere Band 370 mit jedem ersten inneren Band 340 und verriegelt sich mit demselben in einer Schnittebene 400, um das Gitterelement 340 mit einer Eierbehälter-artigen Konstruktion zu versehen. Das erste, innere Band 340 und das zweite, innere Band 370 sind so in der Schnittebene 400 miteinander verbunden und können dort zum Beispiel durch Schweißverbindungen 402 verbunden sein. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung schneidet jedes zweite, innere Band 370 jedes erste, innere Band 340 unter einem Winkel "Φ" von ungefähr 29 Grad bezüglich des ersten, inneren Bandes 340, um eine Mehrzahl von rhombusförmigen Stabzellen 4109 und eine Mehrzahl von allgemein rhombusförmigen Fingerhutzellen 420 durch das Gitterelement 310 zu bilden. Das erste, innere Band 340 besitzt eine Mehrzahl von durchgehenden Schlitzten 404 senkrecht zu der unteren Kante des ersten, inneren Bandes 340 und sich aus hiernach beschriebenen Gründen von dieser ungefähr zur longitudinalen Achse (also dem mittleren Bereich) des ersten inneren Bandes 340 erstreckt. Darüber hinaus besitzt das zweite, innere Band 370 eine Mehrzahl von durchge-

henden Schlitzen 406 senkrecht zu der unteren Kante des zweiten inneren Bandes 370, die sich aus hier beschriebenen Gründen von dieser ungefähr zur longitudinalen Achse (also dem mittleren Bereich) des zweiten inneren Bandes 370 erstrecken. Der Zweck dieser Schlitze 404/406 ist es, Vorrichtungen zum Verbinden und Verriegeln der ersten, inneren Bänder 340 und der zweiten, inneren Bänder 370 zur Verfügung zu stellen. Das bedeutet, daß jeder Schlitz 404, der sich von der unteren Kante jedes ersten, inneren Bandes 340 erstreckt, so angeordnet ist, daß er mit dem entsprechenden Schlitz 407 in der oberen Kante des zweiten, inneren Bandes 370 verbunden wird. Auf ähnliche Weise ist jeder Schlitz 407, der sich von der unteren Kante jedes zweiten, inneren Bandes 370 erstreckt, so angeordnet, daß er mit dem entsprechenden Schlitz 404 in der oberen Kante des ersten, inneren Bandes 340 verbunden wird. Auf diese Weise wird jedes erste, innere Band 340 mit jedem zweiten, inneren Band 370 verbunden oder verriegelt, um die Eierbehälter-artige Konstruktion des Gitterelements 310 zu bilden. Die Eierbehälter-artige Konstruktion des Gitterelements 310 bietet dem Gitterelement 310 eine maximale strukturelle Integrität, während sie das Gewicht des Gitterelements 310 minimiert. Es ist klar, daß der Begriff "untere Kante" hierin die Kante bedeutet, die sich im Flüssigkeitsfluß im Reaktorkern 60 unterhalb befindet, und daß der Begriff "obere Kante" hierin die Kante bedeutet, die sich im Flüssigkeitsfluß oberhalb befindet. Somit sind das erste, innere Band 340 und das zweite, innere Band 370 miteinander verriegelt, wenn die obere Kante jedes zweiten, inneren Bandes 370 in den Schlitzen 404 des ersten, inneren Bandes 340 eingesetzt ist und wenn die untere Kante jedes ersten, inneren Bandes 340 in den Schlitzen jedes zweiten, inneren Bandes 370 eingesetzt ist. Wenn die ersten, inneren Bänder 340 und die zweiten, inneren Bänder 370 auf diese Weise miteinander verriegelt sind, schneidet jedes erste, innere Band 340 jedes zweite, innere Band 370 in der Schnittebene 400 unter dem vorgegebenen Winkel Φ , der ungefähr 29 Grad betragen kann, wie am besten in Fig. 5 zu sehen, um rhombusförmige Stabzellen 410 und allgemein rhombusförmige Fingerhutzellen 420 zu bilden. Dies ist wichtig, da, wenn sich die Brennstäbe 130 durch ihre jeweiligen Stabzellen 410 erstrecken, sie eine dreieckige Anordnung annehmen, um eine "dichtgepackte" Brennstoffanordnung 120 zu erreichen.

Wie am besten in Fig. 4 zu sehen, erstreckt sich jeder Brennstab 130 durch eine jeweilige Stabzelle 410 und besitzt eine longitudinale Mittelachse allgemein parallel zur Flußachse des Flüssigkeitsstroms. Zusätzlich erstreckt sich jedes Fingerhutorohr 280 durch eine entsprechende Fingerhutzelle 420 und besitzt eine longitudinale Mittelachse allgemein parallel zur Flußachse des Flüssigkeitsstroms. Somit ist unter Bezugnahme auf Fig. 4 klar, daß jeder Steuerstab 270 von seinen entsprechenden Brennstäben 130 umgeben ist, um den Spaltvorgang in den Brennstäben 130 auf geeignete Weise zu steuern.

Wie in den Fig. 6 und 7 gezeigt, ist jedes Fingerhutorohr 280 etwa durch Stanzen und/oder Schweißen an seine entsprechende Fingerhutzelle 420 angebracht, um jedes Gitterelement 310 an einer vorgegebenen Stelle entlang der axialen Länge der Brennstoffanordnung 120 zu befestigen. Zusätzlich sind aus dem Inneren der Wände jeder Stabzelle 420 und sich davon nach Innen erstreckend oder vorstehend eine Mehrzahl von elastischen Federelementen 430 geformt, um jeden Brennstab 130 durch Reibung in seiner entsprechenden Stab-

zelle 410 zu stützen und zu halten, so daß der Brennstab sich während des normalen Betriebs und bestimmter Unfallsituationen im Reaktorkern 60 weder axial, noch lateral nach in Drehrichtung bewegen. Jedes Federelement 430 ist unter einem spitzen Winkel, der ungefähr 45° betragen kann, bezüglich einer elastischen, ersten Ausbuchtung 440 und einer elastischen, zweiten Ausbuchtung 450, die koaxial ausgerichtet sind und in den inneren Wänden jeder Stabzelle 420 geformt sind, angeordnet. Die Ausbuchtungen 440/450 halten durch Reibungskraft jeden Brennstab 130. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist die erste Ausbuchtung 440 oberhalb im Kühlmittelflüssigkeitsstrom angeordnet. Somit ist aus der obigen Beschreibung klar, daß jeder Brennstab in seiner entsprechenden Stabzelle 410 an sechs Verbindungs- oder Kontaktpunkten gehalten wird, da vier Ausbuchtungen und zwei Federelemente nach innen in jede Stabzelle 410 ragen, um jeden Brennstab 130 durch Reibungskraft zu halten.

Wie in den Fig. 5, 6, 7, 8 und 9 gezeigt, ist integral an der oberen Kante jedes ersten, inneren Bandes 340 und jedes zweiten, inneren Bandes 370 angebracht und mit jeder Stabzelle verbunden eine Ablenkvorrichtung, wie eine Mehrzahl von getrennten Ablenkschaufeln 460 zum Ablenken einer Komponente des Flüssigkeitsstroms um jeden Brennstab 130, der sich durch die entsprechende Stabzelle 410 erstreckt. Jede Ablenkschaufel 460 erstreckt sich spiralförmig gebogen über ihre entsprechende Stabzelle und steht teilweise über diese hervor, um einen Wirbel zu erzeugen, wenn der Flüssigkeitsstrom an der Stabzelle 410 vorbei und durch sie hindurch fließt, so daß die abgelenkte Komponente des Flüssigkeitsstroms um die longitudinale Mittelachse des Brennstabs 130 wirbelt. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist die Mehrzahl von Ablenkschaufeln 460 ein Paar von Ablenkschaufeln 460, das mit jeder Stabzelle 410 verbunden ist. Jede Ablenkschaufel 460 besitzt eine spiralförmig gekrümmte Unterseite 470 zum Erzeugen des zuvor erwähnten Wirbels. Die Ablenkschaufel 460 kann von der oberen Kante der inneren Bänder 340/370 nach innen gekrümmt sein, um einen allgemein spitzen Winkel bezüglich der Fließrichtung des Flüssigkeitsstroms zu bilden. Die beiden Ablenkschaufeln 460 sind einander entgegengesetzt angeordnet, so daß die beiden spiralförmigen Wirbel, die von dem Paar von Ablenkschaufeln 460 erzeugt werden und mit jeder Stabzelle 410 verbunden sind, nicht im Gegenstrom zueinander fließen. Das Vermeiden eines solchen Gegenstroms verhindert den Abriß der spiralförmigen Wirbel und erzeugt einen erwünschten, kombinierten, spiralförmigen Wirbel, der spiralförmig entlang der äußeren Oberfläche des Brennstabes 130 aufsteigt. Somit besitzt, wenn die ersten inneren Bänder 340 und die zweiten, inneren Bänder 340 im wesentlichen miteinander verriegelt sind, wie zuvor beschrieben, jede Stabzelle 410 zwei mit ihr verbundene Ablenkschaufeln. Das Bereitstellen der beiden Ablenkschaufeln 460 stellt sicher, daß die Komponente des Flüssigkeitsstroms, der um die longitudinale Achse jedes Brennstabes 130 abgelenkt wird, eine größere Wirbelwirkung hat als im Falle einer einzigen Ablenkschaufel 460. Jede der beiden Ablenkschaufeln 460 erstreckt sich teilweise über ihre entsprechende Stabzelle 410 oder steht über diese vor, um eine Komponente des Flüssigkeitsstromes, der durch die Stabzelle 410 nach oben fließt, abzulenken. Dazu erstreckt sich die untere Oberfläche 470 jeder Ablenkschaufel 460 von der oberen Kante des ersten, inneren Bandes 340 oder des zweiten, inneren Bandes 370 in einem vorgegebenen

zum Vermeiden von DNB erhalten.

Patentansprüche

1. Brennstoffanordnung (120), die in der Lage ist, 5
eine Komponente eines Flüssigkeitsstroms, der
entlang der Brennstoffanordnung fließt, abzulen-
ken, dadurch gekennzeichnet, daß sie umfaßt:
a) ein Gitterelement (310) mit einem hexago-
nal-geformten, transversalen Umfang, wobei 10
das Gitterelement eine Mehrzahl von rhom-
busförmigen Stabzellen (410) und eine Mehr-
zahl von im allgemein rhombusförmigen Finger-
hutzellen (420) dadurch bildet;
b) eine Mehrzahl von länglichen Brennstäben 15
(130), die in einer parallelen Anordnung mit
Zwischenräumen angeordnet sind, wobei sich
jeder der Brennstäbe durch eine entsprechen-
de Stabzelle erstreckt;
c) eine Mehrzahl von länglichen Fingerhutroh- 20
ren (280), die in einer parallelen Anordnung
mit Zwischenräumen angeordnet sind, wobei
sich jedes der Fingerhutrohre durch eine ent-
sprechende Fingerhutzelle erstreckt; und
d) eine Ablenkschaukel (460), die mit jeder der 25
Stabzellen verbunden ist und integral an dem
Gitterelement befestigt ist und gekrümmt teil-
weise über ihre entsprechende Stabzelle
schräg zum Flüssigkeitsstrom vorsteht, um ei-
ne Komponente des Flüssigkeitsstroms um je- 30
den der Brennstäbe abzulenken.
2. Brennstoffanordnung nach Anspruch 1, dadurch
gekennzeichnet, daß sie außerdem eine zweite Ab-
lenkschaukel (460) umfaßt, die mit jeder der Stab- 35
zellen verbunden ist und integral an dem Gitterele-
ment befestigt ist und gekrümmt teilweise über ihre
entsprechende Stabzelle schräg zum Flüssigkeits-
strom vorsteht, um eine Komponente des Flüssig-
keitsstroms um jeden der Brennstäbe abzulenken.
3. Brennstoffanordnung (120), die in der Lage ist, 40
eine Komponente eines Flüssigkeitsstroms, der
entlang der Brennstoffanordnung fließt, abzulen-
ken, wobei der Flüssigkeitsstrom eine Fließachse
besitzt, dadurch gekennzeichnet, daß sie umfaßt:
a) ein Gitterelement (310) mit: 45
i) einem äußeren Band (320) mit einem
hexagonalförmigen, transversalen Um-
fang, das hochkant in dem Flüssigkeits-
strom angeordnet ist;
ii) einer Mehrzahl von ersten, inneren 50
Bändern (340), die hochkant in dem Flüssig-
keitsstrom angeordnet sind, wobei je-
des der ersten, inneren Bänder an dem
äußeren Band innerhalb des äußeren Ban-
des befestigt ist; 55
iii) einer Mehrzahl von zweiten, inneren
Bändern (370), die hochkant in dem Flüssig-
keitsstrom angeordnet sind, wobei je-
des der zweiten, inneren Bänder an dem
äußeren Band innerhalb des äußeren Ban- 60
des befestigt ist, wobei jedes der zweiten,
inneren Bänder sich mit jedem der ersten,
inneren Bänder unter einem Winkel be-
züglich der ersten, inneren Bänder schnei-
det, um eine Mehrzahl von rhombusförmigen
Stabzellen (410) und eine Mehrzahl 65
von rhombusförmigen Fingerhutzellen
(420) durch das Gitterelement zu bilden;
- b) eine Mehrzahl von länglichen Brennstäben
(130), die in einer parallelen Anordnung mit
Zwischenräumen in dem Flüssigkeitsstrom
durch eine entsprechende Stabzelle angeord-
net sind, wobei jeder der Brennstäbe eine lon-
gitudinale Achse parallel zur Fließachse des
Flüssigkeitsstroms besitzt;
c) eine Mehrzahl von länglichen Fingerhutroh-
ren (280), die in einer parallelen Anordnung
mit Zwischenräumen in dem Flüssigkeitsstrom
durch eine entsprechende Fingerhutzelle an-
geordnet sind, wobei jedes der Fingerhutrohre
eine longitudinale Achse parallel zur Fließach-
se des Flüssigkeitsstroms besitzt; und
d) eine Mehrzahl von Ablenkschaukeln (460),
die mit jeder der Stabzellen verbunden sind,
wobei jede der Ablenkschaukeln integral an
dem Gitterelement befestigt ist und gekrümmt
teilweise über ihre entsprechende Stabzelle
schräg zum Flüssigkeitsstrom vorsteht, um ei-
ne Komponente des Flüssigkeitsstroms um die
longitudinale Achse des sich durch die entspre-
chende Stabzelle erstreckenden Brennstabs
abzulenken.
4. Brennstoffanordnung nach Anspruch 3, dadurch
gekennzeichnet, daß jede Ablenkschaukel von der
Mehrzahl von Ablenkschaukeln spiralg gekrümmt
teilweise über ihre entsprechende Stabzelle vor-
steht, um einen Wirbel zu erzeugen, so daß die
Komponente des Flüssigkeitsstroms, die um den
Brennstab abgelenkt wird, um die longitudinale
Achse des Brennstabs wirbelt.
5. Brennstoffanordnung nach Anspruch 4, dadurch
gekennzeichnet, daß die Mehrzahl von Ablenk-
schaukeln ein Paar von entgegengesetzt orientier-
ten Ablenkschaukeln ist, die gegenseitig versetzt
sind, um zwei Wirbel zu erzeugen, so daß die Kom-
ponente des um die longitudinale Achse des Brenn-
stabs abgelenkten Flüssigkeitsstroms eine größere
Verwirbelung erfährt.
6. Brennstoffanordnung (120) in einem Kernreak-
torkern (60) mit einem dadurch fließenden Flüssig-
keitsstrom, wobei der Flüssigkeitsstrom eine ein-
direktionale Fließachse besitzt, wobei die Brennstoff-
anordnung in der Lage ist, eine Komponente des
Flüssigkeitsstroms, der entlang der Brennstoffan-
ordnung fließt, abzulenken, dadurch gekennzeich-
net, daß die Brennstoffanordnung umfaßt:
a) eine erste Unterlagsplatte (180);
b) eine zweite Unterlagsplatte (230), die räum-
lich von der ersten Unterlagsplatte getrennt ist
und koaxial mit dieser ausgerichtet ist,
c) eine Mehrzahl von räumlich getrennten und
koaxial ausgerichteten Gitterelementen (310),
die zwischen der ersten Unterlagsplatte und
der zweiten Unterlagsplatte angeordnet sind,
wobei jedes Gitterelement umfaßt:
i) ein äußeres Band (320) mit einem regel-
mäßigen, hexagonalförmigen, transversa-
len Umfang, das hochkant in dem Flüssig-
keitsstrom angeordnet ist, wobei das äu-
ßere Band wenigstens eine längliche Sei-
tenplatte (330) besitzt;
ii) eine Mehrzahl von länglichen, ersten,
inneren Bändern (340), die hochkant in
dem Flüssigkeitsstrom angeordnet sind,
wobei jedes der ersten, inneren Bänder an
dem äußeren Band befestigt ist und sich

Abstand über der Stabzelle 410 gekrümmt nach oben und steht über jeder Stabzelle 410 nach innen vor, um den Flüssigkeitsstrom in die Richtung der Pfeile in Fig. 8 abzulenken. Zusätzlich sind die beiden mit jeder Stabzelle 410 verbundenen Ablenkschaufeln so angeordnet, daß eine der beiden Ablenkschaufeln 460 hinreichend nahe an jeder entfernten Ecke der Stabzelle 410 angeordnet ist. Das bedeutet, daß die beiden Ablenkschaufeln 460 im allgemeinen symmetrisch auf der längsten Diagonalen der Stabzelle 410 angeordnet sind. Darüber hinaus kann sowohl das erste als auch das zweite innere Band 370 eine Mehrzahl von räumlich getrennten Schweißstreifen 473 besitzen, die integral an die untere Kante jedes zweiten, inneren Bandes 370 angebracht sind und sich von dieser nach außen parallel zum Flüssigkeitsstrom erstrecken, um Schweißmaterial zum Schweißen der ersten und zweiten, inneren Bänder 340/370 nach dem ausreichenden Verriegeln der ersten und zweiten, inneren Bänder 340/370 zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich kann das äußere Band 330 auch eine Mehrzahl von räumlich getrennten, nach innen gebogenen Streifen 475 aufweisen, die integral an untere Kante desselben angebracht sind und sich davon nach außen erstrecken, um während Brennstoffauswchselfvorgängen leicht eine erste Brennstoffanordnung 120 entlang einer zweiten Brennstoffanordnung zu gleiten, so daß die erste Brennstoffanordnung 120 sich nicht an der zweiten Brennstoffanordnung verhakt oder "aufhängt". Außerdem kann das äußere Band 330 eine Mehrzahl von räumlich getrennten, nach Innen gekrümmten Ablenkflügeln 477 zum Ablenken einer Komponente des Flüssigkeitsstroms auf die Brennstäbe 130, die sich entlang der inneren Peripherie des äußeren Bandes 330 befinden, umfassen. Dazu besitzt jeder Ablenkflügel 477 einen im allgemeinen pyramidenförmigen, äußeren Umfang und ist integral an seiner Basis an die obere Kante des äußeren Bandes 330 befestigt und erstreckt sich oberhalb der entsprechenden Stabzelle 410 und teilweise über derselben.

Während des Betriebs des Reaktors 10 tritt der Strom des flüssigen Moderator Kühlmittels in die Einlaßdüse 30 ein und fließt in der allgemeinen Richtung eines der in Fig. 1 gezeigten horizontalen Pfeile. Es wird dann ein Nach-Oben-Fließen des Flüssigkeitsstroms durch Durchflußöffnungen 110 bewirkt, so daß er an der in dem Reaktorkern 60 angeordneten Brennstoffanordnung 120 vorbei und durch diese hindurch fließt, wobei der Flüssigkeitsstrom durch den Reaktorkern 60 im allgemeinen in der Richtung der in Fig. 1 gezeigten vertikalen Pfeile fließt. Nach dem Durchfließen des Reaktorkerns 60 verläßt der Flüssigkeitsstrom den Reaktor 10 durch die Auslaßdüsen 40 in der allgemeinen Richtung des weiteren, in Fig. 1 gezeigten horizontalen Pfeils.

Beim Durchfluß des Flüssigkeitsstroms durch den Reaktorkern 60 geht er durch jede rhombusförmige Stabzelle 410, die durch das Gitterelement 310 gebildet wird. Beim Durchfließen des Flüssigkeitsstroms durch jedes Gitterelement 310 und der damit verbundenen Stabzellen 410 nimmt die Geschwindigkeit des Flüssigkeitsstromes ab, und es tritt ein Druckabfall aufgrund der Verbauung durch das in dem Flüssigkeitsstrom angeordnete Gitterelement ein. Dieser Druckabfall kann zu einem Blasensieden auf der äußeren Oberfläche des Brennstabes 130 im Bereich der Stabzelle 410 führen. Wenn keine Ablenkschaufeln vorhanden wären und die von dem Brennstab 130 erzeugte Wärme hoch genug wäre, könnte teilweise oder stabiles Filmsieden (also DNB) auf der Oberfläche des Stabes 130 auftreten, was zu einem

"Durchbrennen" führen würde, was aus Sicherheitsgründen unerwünscht ist. Daher sind Ablenkschaufeln 460 vorgesehen, um den Flüssigkeitsstrom spiralförmig nach innen zur äußeren Oberfläche des Brennstabes 130 zu lenken, um ein teilweises oder stabiles Filmsieden zu vermeiden. Selbst im Falle hexagonaler Gitter mit dreieckiger Anordnung aber ohne Ablenkschaufeln verbessern Ablenkschaufeln 460 das DNB und die thermische Leistung. Eine derart verbesserte DNB-Leistung führt zu einem ungefähr 25%-tigen Anstieg in der thermischen Brennstoffwirkung verglichen mit existierenden Entwürfen hexagonaler Gitter mit dreieckiger Anordnung aber ohne Ablenkschaufeln oder Ablenkflügel.

Der rhombische, transversale Umfang jeder Stabzelle 410 wirkt mit der gekrümmten, unteren Oberfläche 470 jeder Ablenkschaukel 460 zusammen, um einen Wirbel zu erzeugen, so daß DNB vermieden wird. Dazu besitzt die rhombische Form jeder Stabzelle 410 eine verringerte transversale Fließfläche für den Flüssigkeitsfluß verglichen mit der quadratischen Stabzelle von herkömmlicheren Kernreaktorentwürfen. Daher wird wegen der verringerten transversalen Fließfläche der Stabzelle 410, die durch die rhombische Form der Stabzelle 410 erzeugt wird, mehr des nach oben durch die Stabzelle 410 fließenden Flüssigkeitsstroms zu einem Kontakt mit der unteren Oberfläche 470 jeder Ablenkschaukel 460 gezwungen, wenn der Flüssigkeitsstrom aus der Stabzelle 410 austritt. Daher wird, da mehr des Flüssigkeitsstroms die untere Oberfläche der Ablenkschaukel 460 kontaktiert, mehr von dem Flüssigkeitsstrom abgelenkt als bei der herkömmlichen quadratischen Anordnung. Das bewirkt seinerseits einen größeren Wirbel zum Halten eines im wesentlichen einphasigen Flüssigkeitsflusses auf der Außenseite des Brennstabes 130, um ein DNB zu vermeiden.

Zusätzlich vermeiden die rhombusförmigen Stabzellen 410, die zum Gitterelement 310 gehören, in Verbindung mit den Ablenkschaufeln 460 im wesentlichen die Notwendigkeit für größere und teurere Reaktor-Kühlmittelpumpen zum Erhöhen der Flüssigkeitsfließgeschwindigkeit, um einen flüssigen, im wesentlichen einphasigen Flüssigkeitsfluß über das Äußere der Brennstäbe 130 aufrecht zu erhalten. Dies kommt daher, daß die von jeder Stabzelle 410 und den damit verbundenen Ablenkschaufeln 460 erzeugten Wirbel inhärent den Flüssigkeitsfluß um die äußere Oberfläche jedes Brennstabes 130 erhöhen.

Darüber hinaus ermöglichen die rhombusförmigen Stabzellen 410 eine Brennstabanordnung mit dreieckiger Anordnung mit einem verringerten Abstand zwischen den Mittelpunkten benachbarter Brennstäbe 130 verglichen mit der herkömmlicheren quadratischen Stabanordnung. Dies ermöglicht eine dichtere Packung der Brennstäbe 130, um mehr Leistung von einem Reaktorkern gegebener Größe zu erhalten. Dies ist wünschenswert, da ein dichter gepackter Reaktorkern mehr Gewinn-erzeugende Leistung pro Einheitsvolumen erreicht, was seinerseits die Rendite auf die Kraftwerksinvestitionen erhöht.

Weiterhin ist aus der obigen Beschreibung klar, daß die Ablenkschaufeln 460 bewirken, daß sich das kühlere Volumen Kühlmittel mit der wärmeren Flüssigkeit an der Oberfläche (also dem äußeren Durchmesser 170) jedes Brennstabes 130 auf geeignete Weise mischt, so daß die Temperaturdifferenz zwischen dem Volumen Kühlmittel und der Flüssigkeit nahe der Oberfläche der Brennstäbe minimiert wird. Dadurch wird ein im wesentlichen einphasiger Flüssigkeitsfluß über die Brennstaboberfläche

innerhalb des äußeren Bandes parallel zum der Seitenplatte erstreckt;
 iii) eine Mehrzahl von länglichen, zweiten, inneren Bändern (370), die hochkant in dem Flüssigkeitsstrom angeordnet sind, wobei jedes der zweiten, inneren Bänder an dem äußeren Band befestigt ist und sich innerhalb des äußeren Bandes transversal erstreckt, wobei jedes der zweiten, inneren Bänder sich mit jedem der ersten, inneren Bänder unter einem Winkel bezüglich der ersten, inneren Bänder schneidet, um eine Mehrzahl von rhombusförmigen Stabzellen (410) und eine Mehrzahl von rhombusförmigen Fingerhutzellen (420) durch das Gitterelement zu bilden;

d) eine Mehrzahl von länglichen, allgemein zylindrischen Brennstäben (130), die in einer parallelen Anordnung mit Zwischenräumen in dem Flüssigkeitsstrom angeordnet sind und in der Lage sind, Wärme zu erzeugen, wobei jeder der Brennstäbe zwischen der ersten Unterlagsplatte und der zweiten Unterlagsplatte angeordnet ist und eine longitudinale Achse parallel zur Fließachse des Flüssigkeitsstroms besitzt, wobei sich jeder der Brennstäbe durch eine entsprechende Stabzelle erstreckt;

e) eine Mehrzahl von länglichen, allgemein zylindrischen Fingerhutrohren (280), die in einer parallelen Anordnung mit Zwischenräumen in dem Flüssigkeitsstrom angeordnet sind, wobei jedes der Fingerrohre zwischen der ersten Unterlagsplatte und der zweiten Unterlagsplatte angeordnet ist und einen mit der ersten Unterlagsplatte verbundenen, ersten Endbereich und einen mit der zweiten Unterlagsplatte verbundenen, zweiten Endbereich besitzt, um die erste Unterlagsplatte mit der zweiten Unterlagsplatte zu verbinden, wobei jedes der Fingerhutrohre eine longitudinale Achse parallel zur Fließachse des Flüssigkeitsstroms besitzt, wobei sich jedes der Fingerhutrohre durch eine entsprechende Fingerhutzelle erstreckt; und

f) eine Mehrzahl von Ablenkschaufeln (460), die mit jeder der Stabzellen verbunden sind, wobei jede der Ablenkschaufeln an dem Gitterelement befestigt ist und gekrümmt teilweise über ihre entsprechende Stabzelle schräg zur Fließachse des Flüssigkeitsstroms vorsteht, um eine Komponente des Flüssigkeitsstroms um die longitudinale Achse des sich durch die entsprechende Stabzelle erstreckenden Brennstabs abzulenken, wodurch die rhombische Form jeder der Stabzellen und die Krümmung jeder vorstehenden Ablenkschaufel zusammenwirken, um einen flüssigen, im wesentlichen einphasigen Flüssigkeitsfluß über den Brennstab zu erhalten, um die Wärme von dem Brennstab auf den Flüssigkeitsstrom zu übertragen, wenn die Ablenkschaufel die Komponente des Flüssigkeitsstroms um die longitudinale Achse des Brennstabes ablenkt.

7. Brennstoffanordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß jede Ablenkschaufel spiralig gekrümmt teilweise über ihre entsprechende Stabzelle vorsteht, um die Komponente des Flüssig-

keitsstroms um die longitudinale Achse des Brennstabes zu verwirbeln, um Wärme von dem Brennstab auf den Flüssigkeitsstrom zu übertragen.

8. Brennstoffanordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein Paar von entgegengesetzt orientierten Ablenkschaufeln umfaßt, die gegenseitig versetzt sind, um zwei Wirbel zu erzeugen, so daß die Komponente des um die longitudinale Achse des Brennstabs abgelenkten Flüssigkeitsstroms eine größere Verwirbelung erfährt, um mehr der Wärme von dem Brennstab auf den Flüssigkeitsstrom zu übertragen.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 3 γ

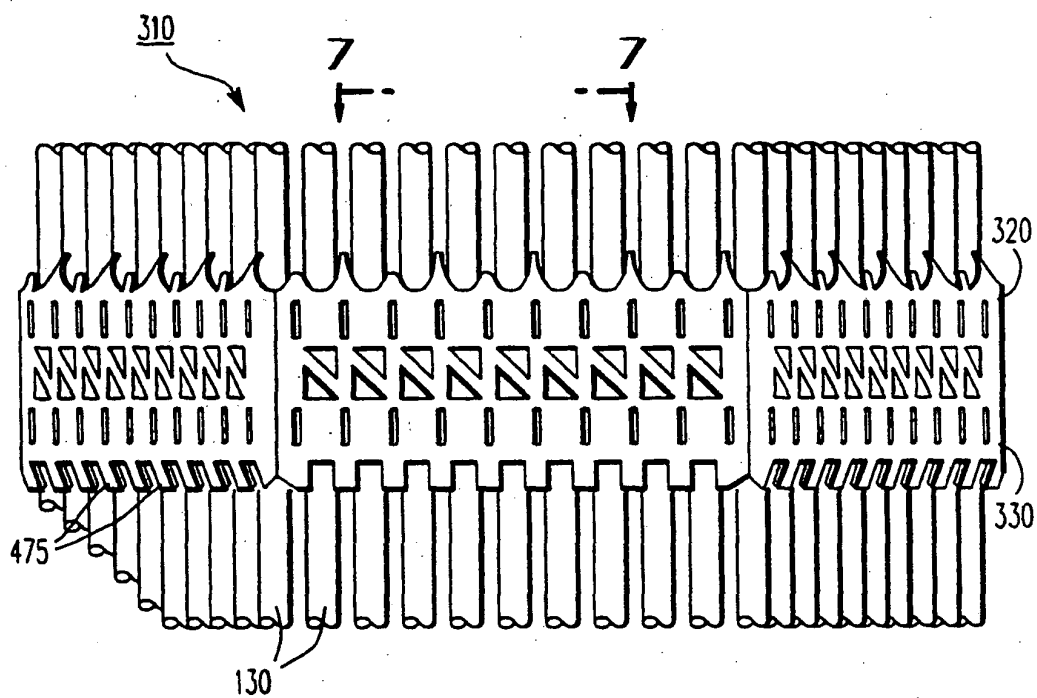


FIG. 1

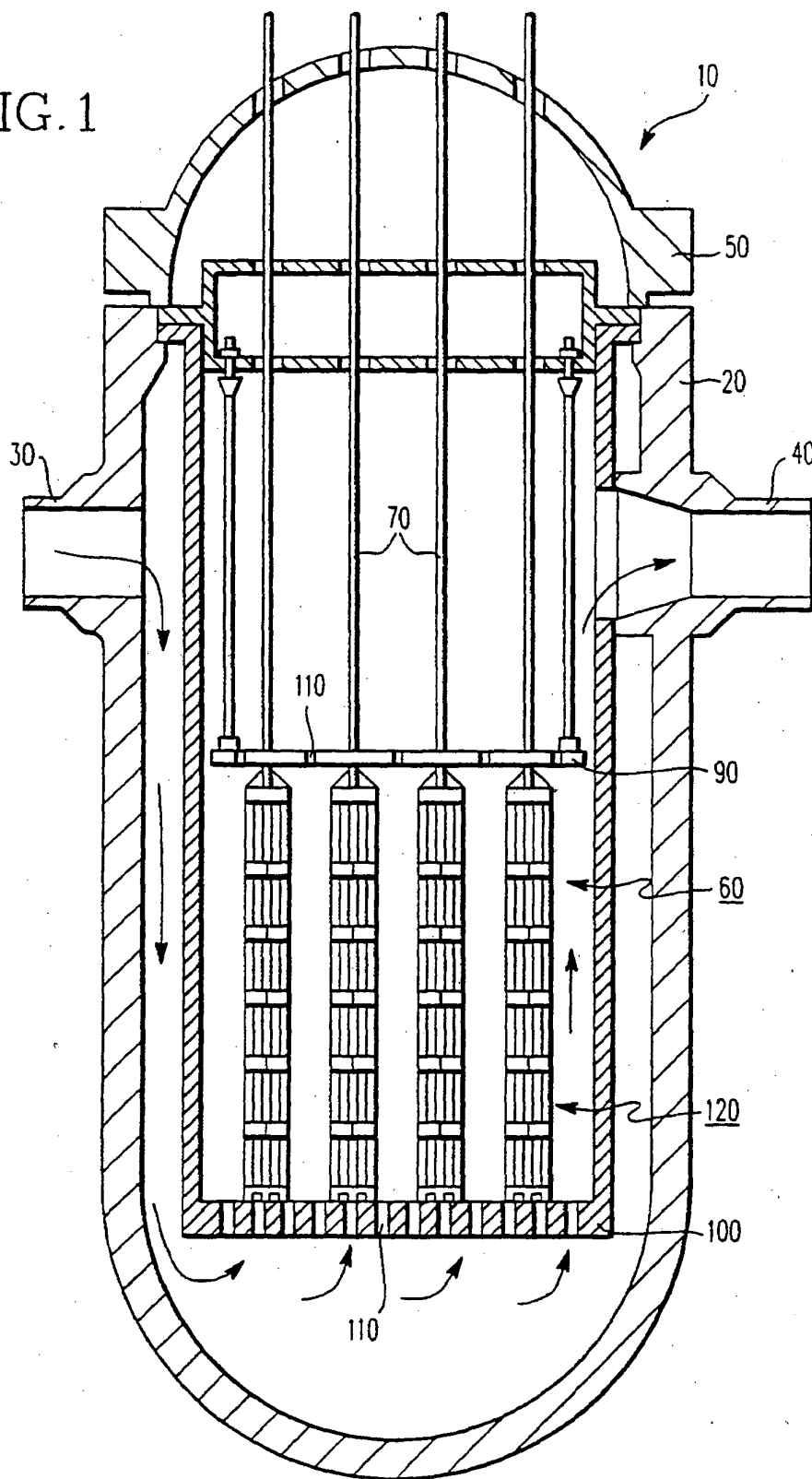


FIG. 2

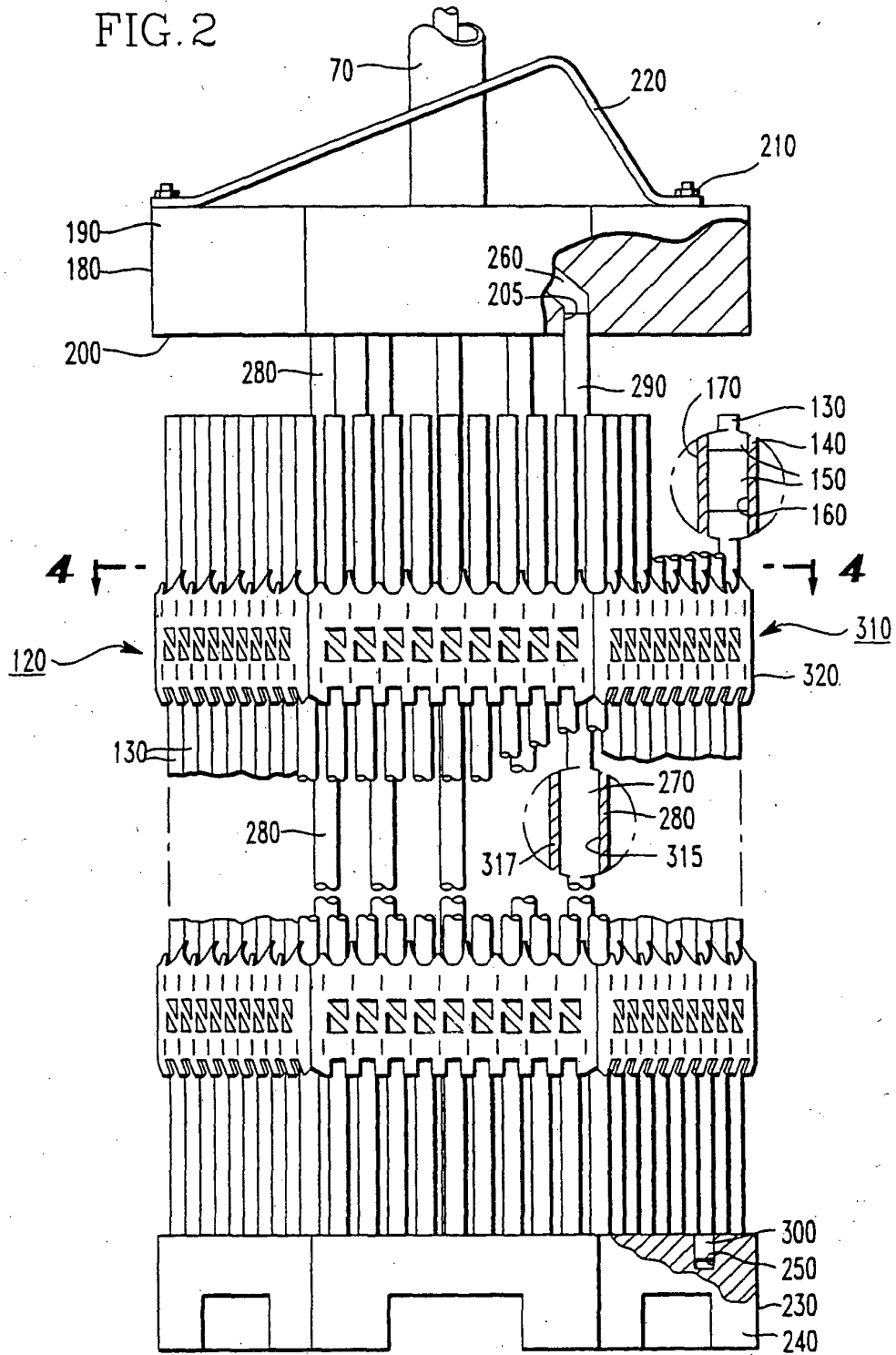
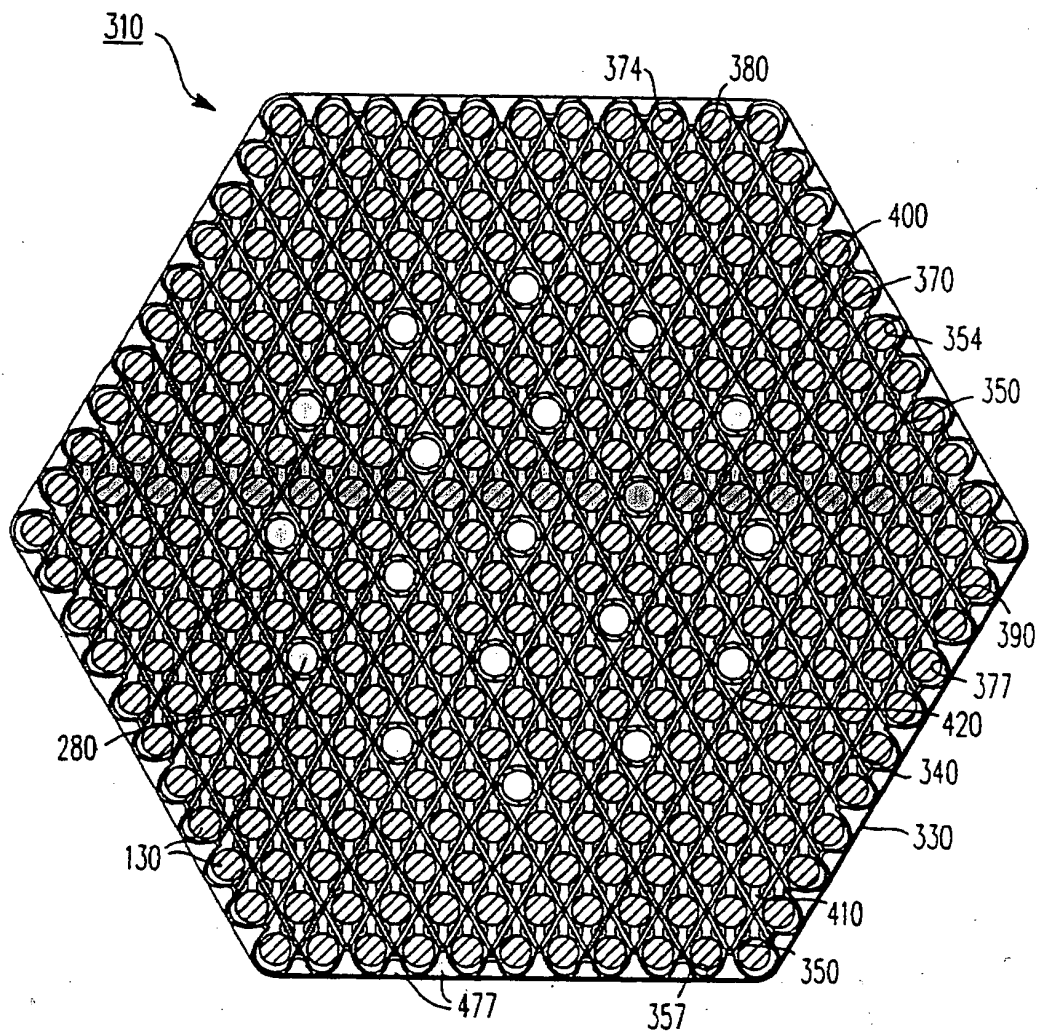


FIG. 4



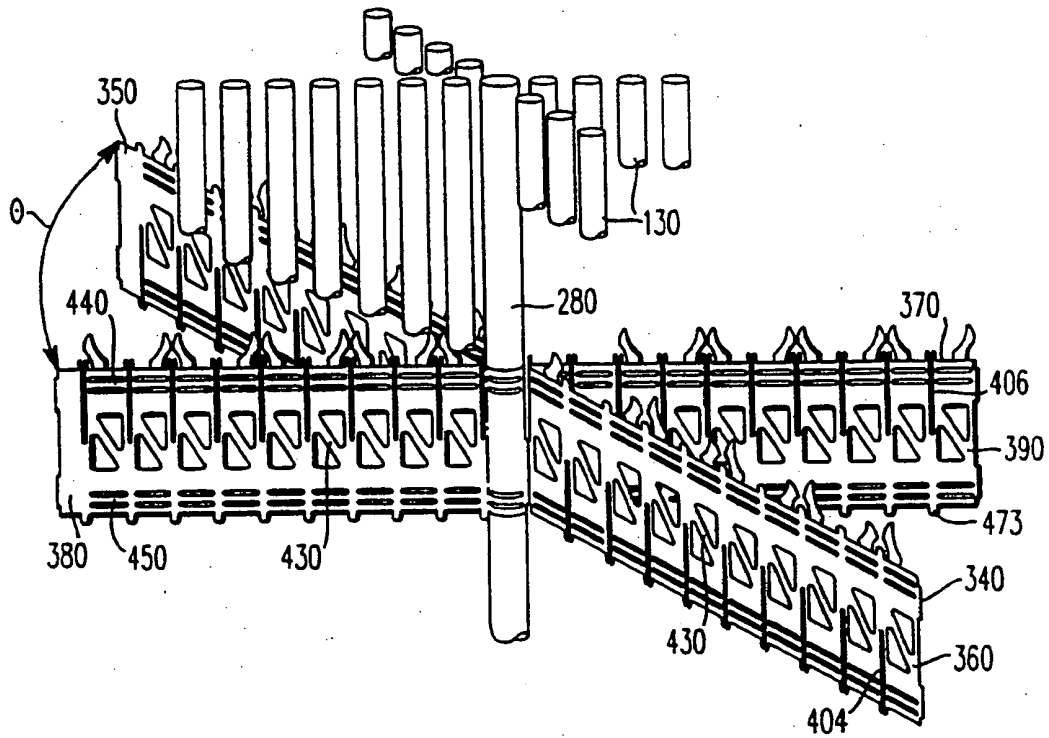


FIG. 5

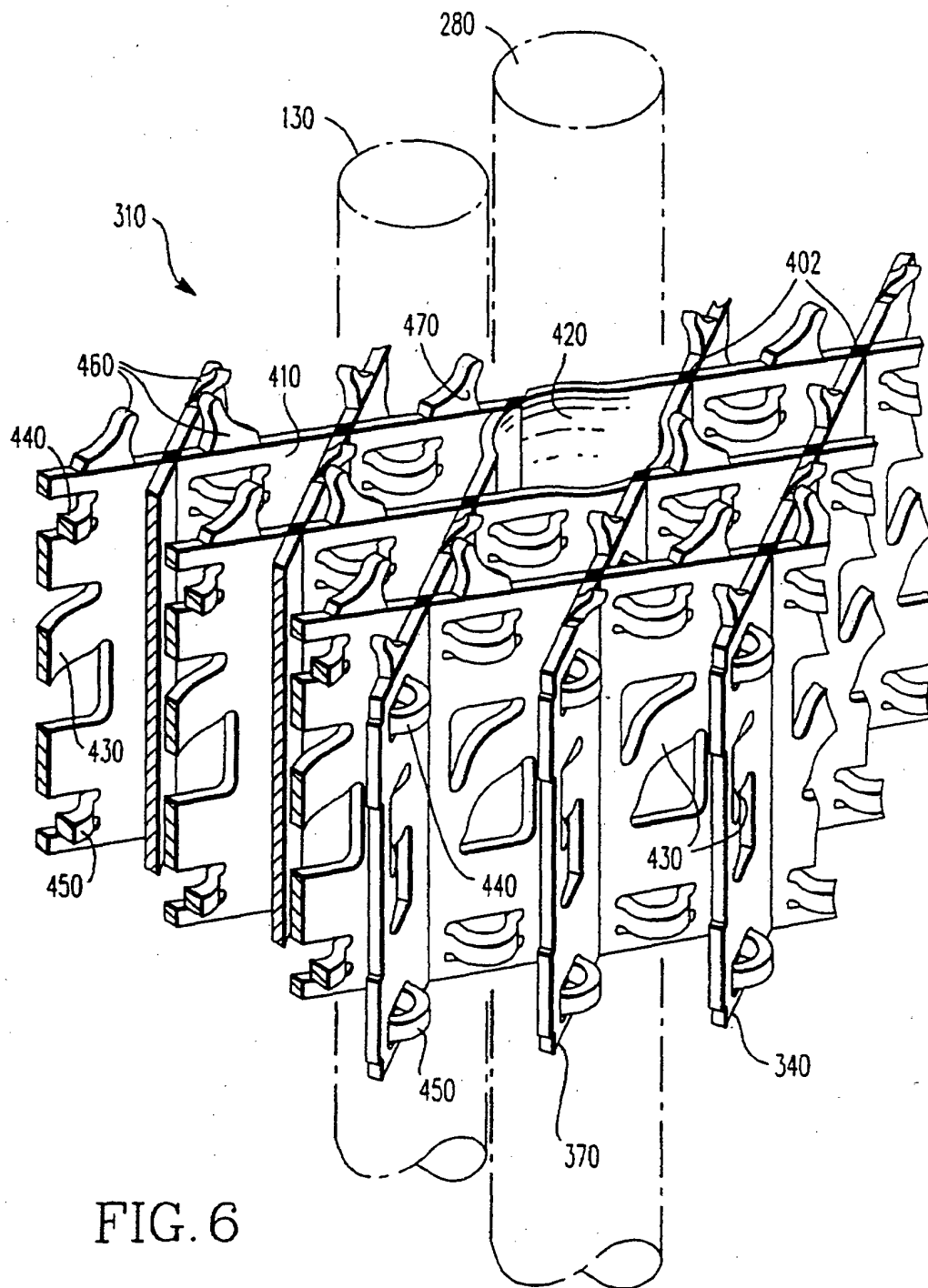


FIG. 6

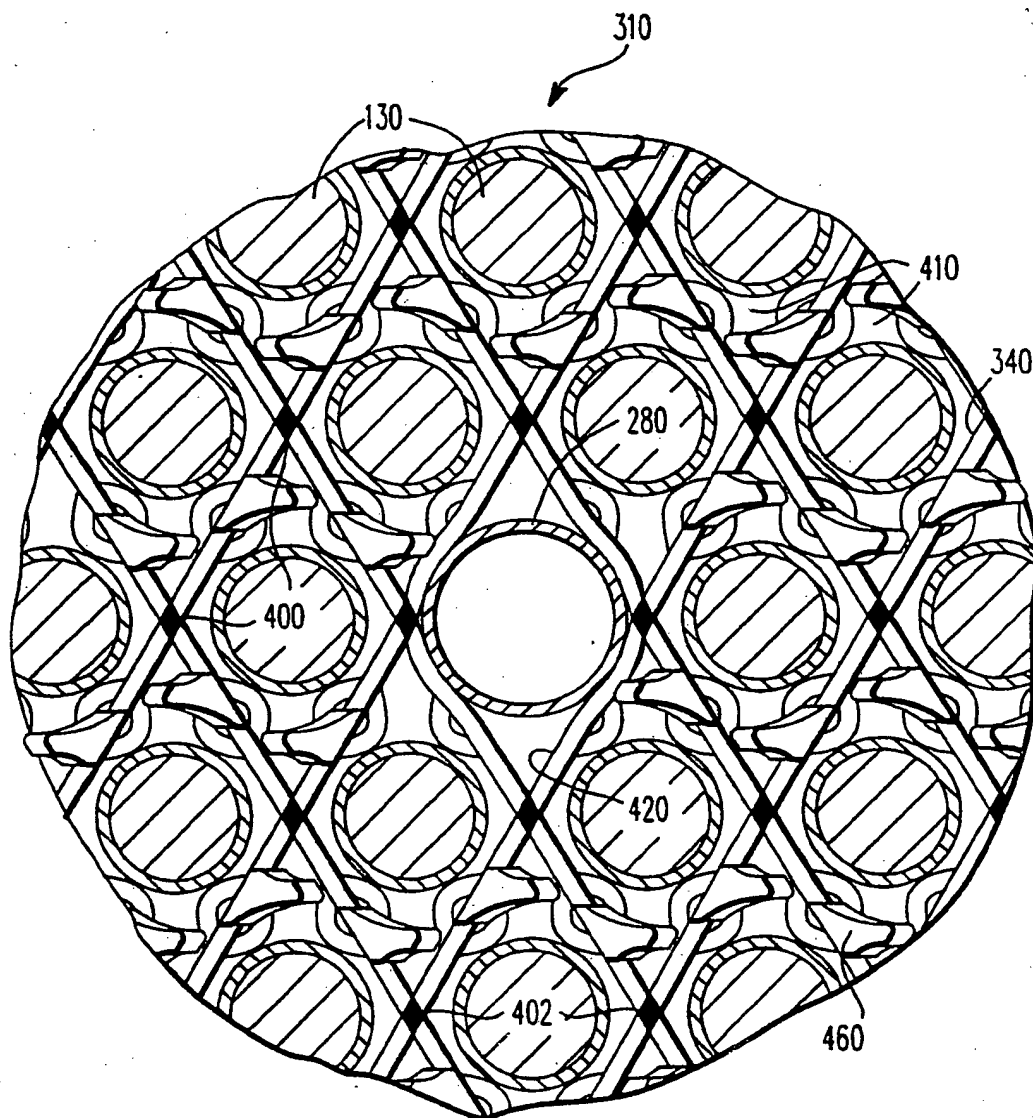
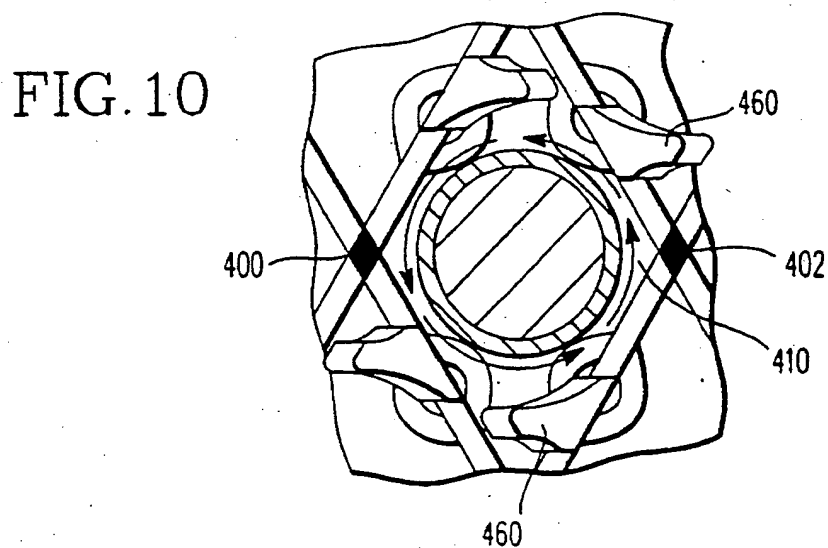
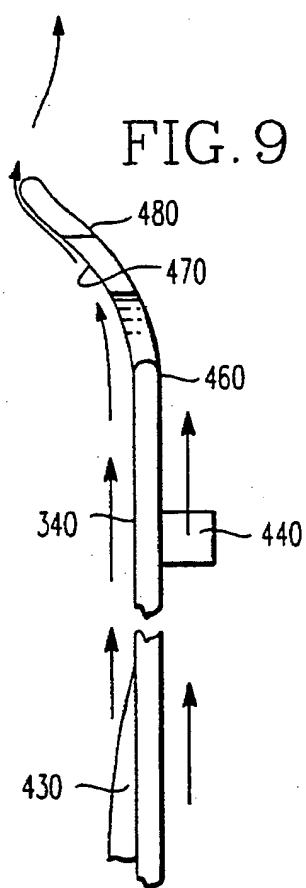
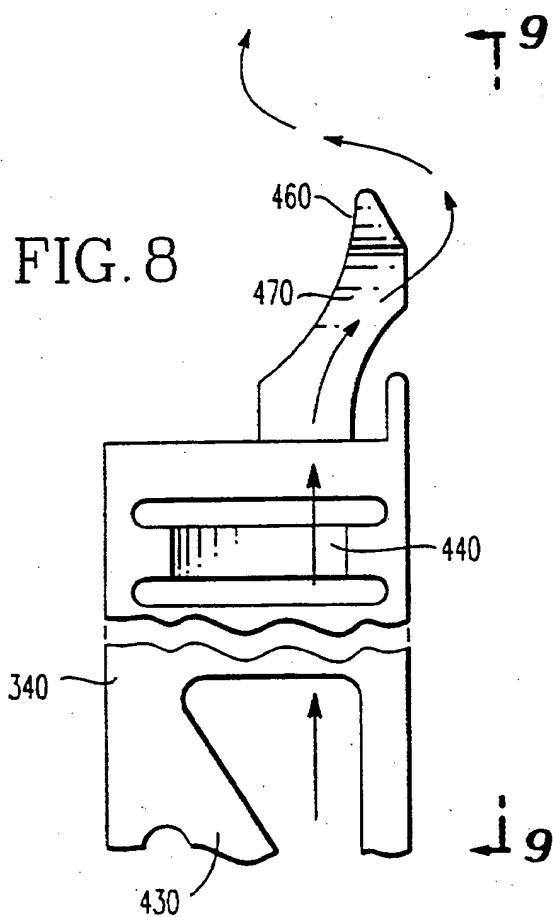


FIG. 7



Fuel assembly including deflector vanes for deflecting a component of a fluid stream flowing past such fuel assembly

Patent Number: US5303276
Publication date: 1994-04-12
Inventor(s): DEMARIO EDMUND E (US); LAWSON CHARLES N (US)
Applicant(s): WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP (US)
Requested Patent: DE4401602
Application Number: US19920968647 19921029
Priority Number (s): US19920968647 19921029; DE19944401602 19940120; FR19940000968 19940128; SE19940000075 19940113
IPC Classification: G21C3/34
EC Classification: G21C3/332, G21C3/352
Equivalents: BG98181, CZ9302292, FR2715760, GB2272101, HU65918, SE9400075, SK118493

Abstract

Fuel assembly including deflector vanes for deflecting a component of a fluid stream flowing past such fuel assembly. The fuel assembly comprises a lattice member having rhombic-shaped rod cells and generally rhombic-shaped thimble cells therethrough. A plurality of parallel fuel rods extend through respective ones of the rod cells and a plurality of parallel control rod guide thimble tubes extend through respective ones of the thimble cells. A plurality of deflector vanes are associated with each rod cell and are integrally attached thereto on the upstream edge of each rod cell. Each deflector vane extends above its associated rod cell and curvilinearly protrudes partially over the rod cell for deflecting a component of the fluid stream onto the exterior surface of the fuel rod that extends through the rod cell. The deflector vane and the rhombic shape of each rod cell coact to create a vortex centered about the longitudinal axis of the fuel rod for maintaining liquid substantially single-phase fluid flow along the exterior surface of the fuel rod, such that DNB is avoided even in the presence of high heat fluxes across the exterior surface of the fuel rod.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

DOCKET NO: MOH-P0000013

SERIAL NO: _____

APPLICANT: W. Meier et al.

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100